

## Studi Kekuatan Tarik Serat *Nonwoven* Silikon Karbida

Suprijono<sup>1</sup>, Guswardani<sup>1</sup>, Susworo<sup>1</sup>, Agus Jamaludin<sup>1</sup>, Jan Setiawan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir  
Badan Tenaga Nuklir Nasional, Serpong, Banten, Indonesia, 15313  
email: [jansetiawan@batan.go.id](mailto:jansetiawan@batan.go.id)

**ABSTRAK-** Telah dilakukan pengujian kekuatan tarik dari serat *nonwoven* silikon karbida yang dibuat dari polycarbosilane menggunakan teknik *electrospinning*. Serat *nonwoven* silikon karbida dibuat dengan teknik *electrospinning* dengan parameter proses (tegangan, jarak ujung jarum ke kolektor dan laju umpan larutan) yang sama. Proses *curing* serat dilakukan dengan waktu 1; 1,5 dan 2 jam. Proses selanjutnya adalah proses pirolisis selama satu jam. Dilakukan pengujian tarik sampel serat *nonwoven* menggunakan *frame* bantu dengan laju penarikan sebesar 1 mm/s. Hasil yang diperoleh menunjukkan kekuatan tarik serat *nonwoven* berturut-turut sebesar 1,85 MPa; 8,98 MPa dan 10,66 MPa seiring dengan bertambahnya waktu *curing* yang dilakukan. Ukuran diameter serat *nonwoven* seiring dengan waktu *curing* berturut-turut adalah 6,13; 4,17 dan 4,23  $\mu\text{m}$ . Dari hasil ini menunjukkan ketahanan serat dalam menerima beban tarik disebabkan oleh gesekan dan adesi antar serat, sedangkan kelenturan serat sangat dipengaruhi oleh diameter serat.

**Kata kunci:** Kekuatan tarik, serat *nonwoven*, polycarbosilane, *electrospinning*, silikon karbida

**ABSTRACT-** Tensile strength measurement has been done for silicon carbide *nonwoven* fiber that produced for polycarbosilane using *electrospinning* technique. Silicon carbide *nonwoven* fibers produced with the same process parameter (high voltage, tip to collector distance and feed rate solution). The curing process time varied at 1, 1.5 and 2 hour(s). The pyrolysis process took placed after the curing process for 1 hour. Tensile measurement for the *nonwoven* fiber has done by framed the sample and the pulling speed at 1 mm/s. The results showed the tensile strength of *nonwoven* fiber has a lower value compared to the woven silicon carbide fiber. Tensile strength of the fibers against the curing process time were 1.85 MPa, 8.98 MPa and 10.66 MPa, respectively. The fibers diameter value against the curing process time were 6.13, 4.17 and 4.23  $\mu\text{m}$ . These results showed the fibers toughness take the tensile load caused by the friction and adhesion inter-fibers, then the elasticity of fibers depend on the fibers diameter.

**Keywords:** Tensile strength, *nonwoven* fibers, polycarbosilane, *electrospinning*, silicon carbide

### I. PENDAHULUAN

Silikon karbida merupakan keramik yang memiliki karakteristik yang baik sebagai material struktur untuk reaktor nuklir maju <sup>[1]</sup>. Silikon karbida memiliki ketahanan pada temperatur tinggi, laju reaksi yang rendah dalam uap pada temperatur tinggi yang berkenaan dengan kecelakaan dengan kehilangan pendingin (LOCA) serta memiliki kestabilan terhadap iradiasi neutron <sup>[2,3]</sup>. Silikon karbida yang digunakan dapat berbentuk bulk, ataupun komposit keramik <sup>[1]</sup>. Silikon karbida secara alamiah memiliki karakteristik mekanik yang rapuh. Namun dalam bentuk komposit akan memberikan keuntungan mekanik yang lebih baik dibandingkan dalam bentuk bulk. Komposit

silikon karbida terdiri atas bagian matrik dan pengisi. Polycarbosilane (PCS) merupakan salah satu bahan yang menjanjikan untuk membentuk silikon karbida dan dapat dibentuk berupa serat *nonwoven* <sup>[4]</sup>. Serat *nonwoven* dapat digunakan sebagai pengisi komposit keramik <sup>[5]</sup>. Serat *nonwoven* PCS dapat dibentuk dengan metode *electrospinning*. Serat *nonwoven* yang dihasilkan dari teknik *electrospinning* memiliki diameter berkisar 10 nm – 10  $\mu$ m <sup>[6]</sup>. Diameter serat dapat diamati menggunakan mikroskop optik atau *scanning electron microscope* (SEM). Karakteristik mekanik komposit sangat ditentukan oleh karakteristik mekanik dari seratnya, yang dapat ditentukan dengan menggunakan uji tarik. Pengujian terhadap serat tunggal dari serat *electrospinning* juga mungkin dilakukan, tetapi memerlukan perlakuan khusus dan kehati-hatian <sup>[5]</sup>. Pendekatan terhadap karakterisasi mekanik seperti indentasi nano, uji tekuk, pengukuran frekuensi resonansi dan uji tegangan skala mikro telah dilakukan <sup>[5]</sup>. Perilaku kekuatan tarik serat *nonwoven electrospinning* oleh Molnar, dkk. <sup>[7]</sup> menunjukkan diperlukannya aparatus khusus ketika ukuran diameter serat tunggalnya berkisar beberapa nanometer. Kekuatan tarik serat silikon karbida *woven* berkisar 1,8 hingga 2,2 GPa <sup>[3,8]</sup>. Karakteristik mekanik dari serat *nonwoven* berbeda dengan serat *woven*-nya, ditunjukkan dengan rendahnya nilai kekakuan dan kekuatannya, namun ketahanan serat terhadap deformasi dan penyerapan energinya selama terjadi deformasi jauh lebih tinggi <sup>[9]</sup>.

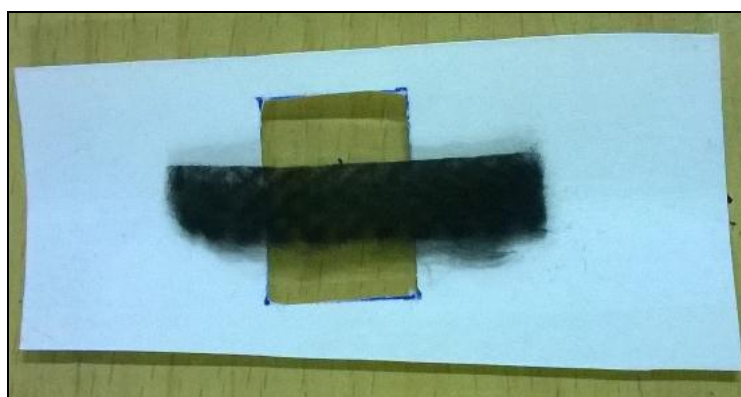
Morfologi serat dan komposisinya telah dituliskan oleh Setiawan, dkk. <sup>[10,11]</sup>. Terlihat morfologi serat *nonwoven* dengan jenis berupa pita dan kandungan oksigen yang cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya waktu proses *curing* <sup>[11]</sup>. Dilakukannya proses *curing* bertujuan untuk membentuk ikatan silang (*crosslink*) antara gugus silikon atau karbon dengan oksigen, dimana dengan adanya ikatan silang ini mampu membuat serat lebih kokoh saat dilakukan proses pemanasan pirolisis, tingginya derajat ikatan silang ditunjukkan dengan menurunnya gugus ikatan silikon-hidrogen pada serat <sup>[10]</sup>. Mekanisme kegagalan terhadap beban tarik pada serat *nonwoven* sangat bergantung pada susunan serat, kohesi dan adesi antar serat <sup>[12]</sup>. Lembaran yang susunan seratnya diarahkan pada arah tertentu akan memberikan kekuatan terbesar pada arah tersebut sehingga lembaran ini akan bersifat anisotropik. Serat *nonwoven* memiliki susunan serat yang acak membuat kekuatan tarik lembaran serat *nonwoven* bersifat isotropik dan sangat dimungkinkan tidak ada ikatan antar serat <sup>[5]</sup> dan kekuatan utamanya sangat bergantung pada adesi antar seratnya. Terbentuknya porositas pada serat disebabkan oleh kelembaban yang tinggi saat proses pembuatan serat *polycarbosilane*. Kelembaban yang tinggi akan menyebabkan

uap air di udara dapat menempel pada permukaan serat sehingga pada saat proses *curing* akan meninggalkan cekungan yang nantinya akan menjadi sumber pori ataupun cacat saat dilakukan proses pirolisis.

Dalam studi ini disampaikan pengaruh waktu *curing* terhadap ukuran diameter, kekuatan tarik dan modulus Young serat *nonwoven* silikon karbida yang dibuat dari PCS menggunakan teknik *electrospinning*. Diameter serat ditentukan dari citra SEM menggunakan pendeteksian tepi *Canny* dalam aplikasi ImageJ. Kekuatan tarik diperoleh dengan menganalisis kurva *stress-strain* yang dibentuk dari pengujian tarik serat *nonwoven*.

## II. TATA KERJA

Serat *nonwoven* silikon karbida dibuat dari polycarbosilane yang di proses dengan teknik *electrospinning*. Dalam proses *electrospinning* dibuat larutan umpan dari polycarbosilane dilarutkan dalam toluena dan N,N-dimethylformamida. Proses *electrospinning* dilakukan pada tegangan sebesar 10 kV, dengan jarak antara ujung jarum dengan pelat kolektor sejauh 12 cm dengan laju umpan larutan polycarbosilane sebesar 3 mL/jam <sup>[6]</sup>. Setelah serat polycarbosilan terbentuk pada pelat kolektor, dilanjutkan dengan proses *curing* yang dilakukan pada temperatur 200 °C selama 1; 1,5 dan 2 jam dalam suasana udara. Sampel berturut-turut diberi kode 1210, 1215 dan 1220. Pembentukan serat silikon karbida dilanjutkan dengan proses pirolisis pada temperatur 1000 °C selama 1 jam dalam suasana argon. Uji tarik dilakukan menggunakan mesin uji tarik Shimadzu AGX-10 dengan berat beban sebesar 5 kN. Sampel serat *nonwoven* dibentuk segi empat dengan ukuran 10 × 50 × 0,1 mm <sup>[6]</sup>. Pelaksanaan pengujian sampel serat *nonwoven* diletakkan pada *frame* bantu untuk menempatkan serat pada *grip* mesin uji tarik <sup>[6]</sup> seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Laju penarikan serat *nonwoven* yang diberikan pada mesin uji tarik sebesar 1 mm/s.

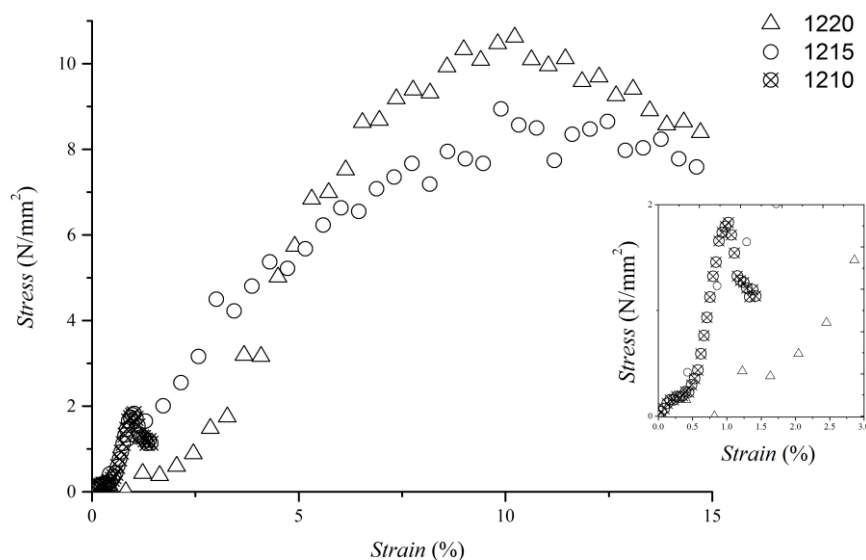


Gambar 1. *Frame* bantu untuk menempatkan sampel serat *nonwoven* pada mesin uji tarik <sup>[6]</sup>.

Analisis dilakukan terhadap kurva hubungan *stress* dan *strain* dari serat *nonwoven*. Kekuatan tarik dari serat ditentukan dari nilai *stress* tertinggi. Serat *nonwoven* kemungkinan memiliki lebih dari satu nilai kekuatan tarik. Modulus Young ditentukan secara statistik dengan pendekatan linier regresi pada daerah elastis dari kurva serat *nonwoven*, dimana kemiringan garis regresi yang diperoleh menunjukkan nilainya <sup>[6]</sup>. Diameter serat *nonwoven* ditentukan menggunakan metode pendeteksian tepi *Canny* <sup>[13]</sup> dalam aplikasi ImageJ.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian untuk ketiga jenis serat *nonwoven* dengan *frame* bantu menggunakan mesin uji tarik dibentuk dalam kurva hubungan *stress-strain* yang disajikan pada Gambar 2. Nilai kekuatan tarik dan modulus Young yang dihasilkan dengan menganalisis kurva pada Gambar 2 disajikan pada Tabel 1.



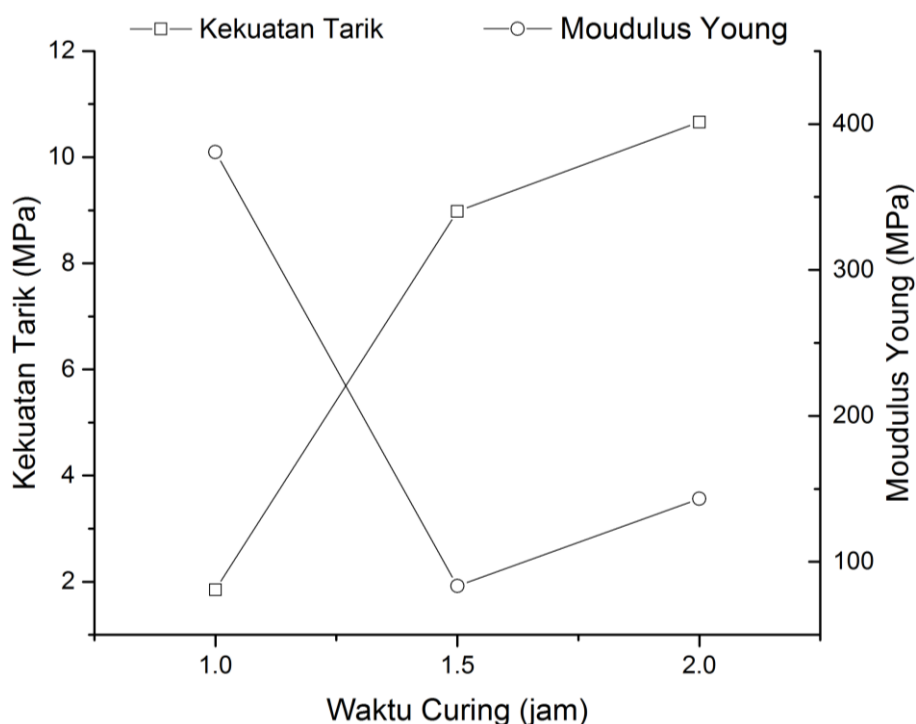
Gambar 2. Kurva hubungan *stress-strain* serat *nonwoven* silikon karbida.

Tabel 1. Karakteristik kekuatan tarik dan modulus young serat *nonwoven* silikon karbida.

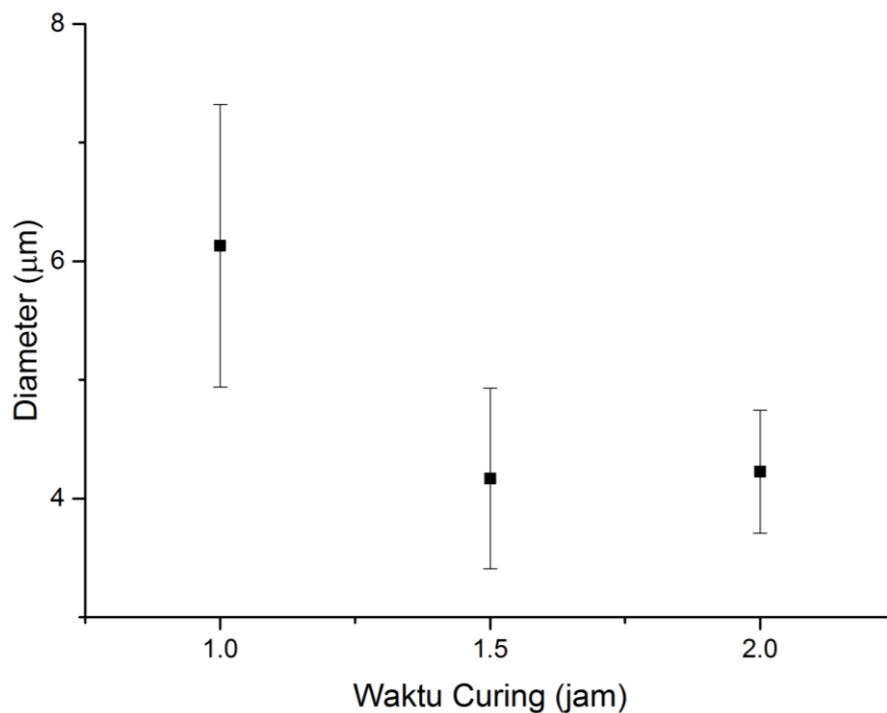
Kode Sampel	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus Young (MPa)
1210	1,85	380,70
1215	8,98	83,41
1220	10,66	143,26

Data serat dengan kode sampel 1210 pada Gambar 2 dan Tabel 1 diperoleh dari Setiawan <sup>[6]</sup>. Gambar 2 memperlihatkan karakteristik serat ketika menerima beban

tarik. Serat 1210 terlihat pada awal tarikan mampu bersifat elastis dengan menerima beban tarik hingga mencapai  $0,15 \text{ N/mm}^2$  dan memiliki daerah plastis dengan pertambahan panjang berkisar pada daerah tersebut sebesar 0,25 %. Saat pertambahan panjang yang mendekati 0,5 %, dan ketika pertambahan panjang berkisar 1,0 % serat *nonwoven* menunjukkan kemampuan elastisnya dengan menerima beban hingga mencapai  $1,85 \text{ N/mm}^2$ . Pertambahan panjang lebih dari 1,0 % serat-serat 1210 yang mengalami putus semakin banyak dan pada saat ini gesekan dan adesi antar serat berperan terhadap ketahanan serat *nonwoven* menerima beban tarik. Karakteristik serat 1215 dan 1220 menunjukkan perilaku yang berbeda dari serat 1210. Serat 1215 dan 1220 memperlihatkan pertambahan panjang serat pada daerah elastisnya mencapai hingga 10 %. Serat 1220 menunjukkan perilaku plastis diawal tarikan hingga pertambahan panjang sebesar 2,5 %. Pertambahan panjang yang dialami serat 1215 dan 1220 melebihi 10 %, serat *nonwoven* mulai mengalami putus semakin banyak. Perilaku yang serupa dengan serat 1210 juga dialami oleh serat 1215 dan 1220, dimana setelah melewati daerah elastisnya ketahanan serat *nonwoven* menerima beban tarik dikarenakan adanya gesekan dan adesi antar serat. Tabel 1 menunjukkan serat 1210 terlihat nilai kekuatan tarik yang paling rendah dibandingkan dengan serat 1215 dan 1220.



Gambar 3. Pengaruh waktu *curing* terhadap kekuatan tarik dan modulus Young serat *nonwoven* silikon karbida.



Gambar 4. Pengaruh waktu *curing* terhadap diameter serat *nonwoven* silikon karbida.

Gambar 3 memperlihatkan serat yang waktu *curing*-nya lebih lama (1,5 dan 2 jam) menunjukkan peningkatan kekuatan tarik yang sangat signifikan. Tabel 1 menunjukkan nilai modulus Young serat 1210 memiliki nilai yang tertinggi. Hal ini menunjukkan memiliki kekakuan yang tinggi, sehingga serat akan menjadi mudah patah. Gambar 2 menunjukkan serat 1215 dan 1220 memiliki tren peningkatan nilai kekuatan tarik diikuti juga dengan tren nilai modulus Young yang meningkat. Bagaimanapun juga, karakteristik kekakuan serat 1215 dan 1220 jauh lebih rendah dibandingkan dengan 1210. Hasil yang diperoleh dalam Setiawan, J. <sup>[6]</sup>, serat dengan diameter yang lebih kecil memiliki nilai modulus Young yang lebih rendah. Ukuran diameter dari serat *nonwoven* silikon karbida yang disajikan pada Gambar 4 berturut-turut dari terkecil adalah 1215, 1220 dan 1210, begitu juga urutan untuk nilai modulus Young-nya, sehingga dapat dikatakan ukuran diameter serat berkorelasi dengan nilai modulus Young. Ukuran diameter serat *nonwoven* berturut-turut seiring dengan penambahan waktu *curing* adalah 6,13 <sup>[6]</sup>; 4,17 dan 4,23 μm.

#### IV. KESIMPULAN

Dari studi uji tarik yang telah dilakukan diperoleh nilai modulus Young serat 1215 yang paling rendah dibanding dua jenis serat lainnya. Dari nilai kekuatan tarik serat 1220 merupakan yang paling tinggi. Seiring dengan penambahan waktu proses *curing*

yang akan meningkatkan jumlah oksigen terikat di dalam serat. Terjadi pertambahan panjang daerah elastis hingga mencapai 10 %. Selain itu kekuatan tarik serat juga mengalami peningkatan berturut-turut dari 1,85 MPa; 8,98 MPa dan 10,66 MPa. Pada nilai modulus Young terdapat korelasi dengan ukuran diameter serat. Dimana nilai diameter serat *nonwoven* berturut-turut seiring dengan penambahan waktu *curing* adalah 6,13; 4,17 dan 4,23  $\mu\text{m}$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Khalifa, H.E., C.P. Deck, O. Guiterrez, G.M. Jacobsen & C.A. Back. Fabrication and characterization of joined silicon carbide cylindrical components for nuclear application. *Journal of Nuclear Materials*, pp457. 227-240.
- [2] Terrani, K.A. & Chinthaka M. Silva. (2015). High temperature steam oxidation of SiC coating layer of TRISO fuel particles. *Journal of Nuclear Materials* 460, pp 160-165.
- [3] Haitao Liu, Haifeng Cheng, Jun Wang, Gengping Tang, Renchao Che & Qingsong Ma. (2009). Effect of the fiber surface characteristics on the interfacial microstructure and mechanical properties of the KD SiC fiber reinforced SiC matrix composites. *Materials Science and Engineering A* 525, pp121-127.
- [4] Sinha, M.K., Das, B.R., Mishra, R., Ranjan, A., Srivastava, A., & Saxena, A.K. (2014). Study of electrospun polycarbosilane (PCS) nanofibrous web by needle-less technique. *Fashion and Textiles*, 1. (2).
- [5] Bhardwaj, N., & Kundu, S. C. (2010). Electrospinning: a fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnology advances*, 28(3), 325-347.
- [6] Setiawan, J., (2015), Sintesis Komposit Matriks Keramik Silikon Karbida Berbasis polycarbosilane dan Karakteristik Panasnya Sebagai Bahan Penukar Kalor, Disertasi. Universitas Indonesia.
- [7] Molnar, K., Laszlo Mihaly Vas, & Tibor Czigany. (2012). Determination of tensile strength of electrospun single nanofibers through modeling tensile behavior of the nanofibrous mat. *Composites: Part B* 43, pp 15-21.
- [8] Jing Xin, Shi Duoqi, Yang Xiaoguang, & Zhao Chaojun. (2015). Fiber strength measurement for KD-I(f)/SiC composites and correlation to tensile mechanical behavior at room temperature and elevated temperatures, *Ceramics International* 41, pp 299-307.
- [9] Ridrurejo, A., Carlos Gonzalez, & Javier LLorca. (2011). Micromechanism of deformation and fracture of polypropylene nonwoven fabrics, *International Journal of Solids and Structures* 48, pp 153-162.
- [10] Setiawan, J., Pranjono, R. Saptaaji, Poertadji, S., & Sigit. (2014). *Study on polycarbosilane fibers cured by thermal process and electron beam irradiation*. Prosiding 7<sup>th</sup> International Conference on Physics and its Applications (ICOPIA) 2014, Solo, 16-17 September 2014, pp.127-130
- [11] Setiawan, J., S. Pribadi, Pranjono, S. Poertadji, & Sigit. (2015). Study on morphology of Electrospun SiOC, *Advanced material Research* Vol 1123, pp223-226.
- [12] Singha, K., Maity, S., Singha, M., Paul, P., & Gon, D.P. (2012). Effects of fiber diameter distribution of nonwoven fabrics on its properties. *International Journal of Textile Science*, 1(1), 7-14.
- [13] Pribadi, S., Pranjono, Triarjo, D. Mustika, & J. Setiawan. (2015). *Metode Pendeteksian Tepi Sobel dan Canny untuk pengukuran diameter serat nonwoven polycarbosilane*. Seminar Nasional XI SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, 15 September 2015, pp.248-252.